

季风与极涡的异常配置下中国夏季 大尺度旱涝分布*

季飞¹⁾ 赵俊虎^{1)2)†} 申茜¹⁾ 支蓉²⁾ 龚志强²⁾

1)(兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

2)(国家气候中心气候研究开放实验室, 北京 100081)

(2013年10月23日收到; 2013年11月8日收到修改稿)

从冷暖系统配置的角度, 选取东亚夏季风(EASM)和7月亚洲区极涡面积(APVA), 分析了二者的气候特征与中国夏季降水分布之间的关系. 在此基础上, 将1951—2010年EASM和APVA的异常配置分为四种类型: A: 季风强、极涡大; B: 季风强、极涡小; C: 季风弱、极涡大; D: 季风弱、极涡小. 研究发现, 二者的异常配置下, 中国夏季大尺度旱涝分布在季尺度上表现出多面性特征: A型年, 夏季整体偏旱; B型年, 夏季南涝北旱; C型年, 夏季北涝南旱; D型年, 夏季整体偏涝. 由此可见, 中国夏季旱涝总体分布除了与EASM有关外还与APVA密切相关, 二者异常的不同配置下, 夏季降水多寡和旱涝分布表现出了显著的差异和规律性, 这对夏季降水总体趋势预测有一定的指示意义. 此外, 通过研究不同配置关系对应大气环流异常特征, 并分析不同要素在夏季风和极涡关系变化中的作用, 发现不同配置类型下夏季降水表现出的差异和规律性直接取决于环流场的整体配置, 其中西太副高和中高纬阻塞形势起主导作用.

关键词: 东亚夏季风, 亚洲区极涡面积, 旱涝分布, 大气环流

PACS: 92.60.Wc, 92.60.Bh

DOI: 10.7498/aps.63.059201

1 引言

旱、涝气候预测是一个有很大难度的前沿性科学问题, 中国的旱、涝分布与东亚季风的年际变化密切相关^[1-3]. 中国地处东亚季风区, 在6—8月的汛期间, 大范围的降水分布、雨带移动以及旱涝灾害在很大程度上取决于夏季风的活动, 特别是中国的东部地区, 其天气主要是在副热带夏季风主体内并在热带季风和北方极涡等系统的共同作用下产生的^[4,5]. 在东亚夏季风(East Asian summer monsoon, EASM)方面, 科学家作了大量的工作^[6-9]. 丁一汇^[10]总结了中国不同地区降水和季风的关系, 指出在不同地区降水对夏季风的响应是不同的. 施能等^[11]研究发现, EASM与中国夏

季降水的关系主要表现在夏季雨带的南北位置上, 弱EASM时, 夏季雨带位置偏南, 长江中下游为涝年; 而强EASM时, 长江中下游经常是旱年. 张庆云等^[12,13]在区分东亚夏季风系统中热带夏季风和副热带季风的基础上, 讨论了二者强度与中国东部汛期降水的关系, 指出热带辐合带和副热带辐合带的强度变化呈相反趋势; 热带季风槽偏弱, 梅雨锋偏强时, 江淮流域的降水偏多, 反之则偏少; 并在此基础上用风场定义了EASM指数, 该指数既反映了风场变化, 同时也反映降水场变化, 已在科研和业务中得到了广泛应用. 而极涡是中高纬的一个深厚系统, 它以极地为活动中心, 最能体现中高纬大气活动特征, 极区强冷空气常南移, 给中纬度地区天气气候带来极大影响. 欧亚大陆的寒潮等冷空气活动均与极涡强弱及位置变化有着紧密的联系, 极区

* 国家重点基础研究发展计划(批准号: 2013CB430204 和 2012CB955902)、国家自然科学基金项目(批准号: 41375078 和 40930952)和公益性行业科研专项(GYHY201106016)资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: huzi348637577@sina.com

及西伯利亚等冷源区的大气活动也直接影响我国及东亚的气温和降水变化^[14–16]. 极涡是大气环流的一个重要系统, 尽管其对天气气候变化的作用非常明显, 但它并非孤立地去影响天气气候的变化, 而是与其他大气环流因子相互配合, 尤其与副热带高压、阻塞高压、季风等环流系统相互配合, 在全球天气气候变化中起着至关重要的作用.

EASM在一定程度上反映了中低纬的暖湿系统的强弱, 极涡代表着中高纬的冷势力. 而降水是冷暖空气相互作用的结果, 夏季冷暖空气的强弱和相互作用的频次以及每次冷暖空气交锋的持续时间、滞留地区与水汽供应的条件都会影响到汛期降水的强弱和分布. 影响中国汛期降水的主要冷暖环流系统众多, 如低纬的副热带高压、南支槽、季风、热带风暴及中高纬的阻塞高压和极地冷涡等. 对于汛期降水预测, 若只用一个因子, 往往会出现以偏概全的结果; 若同时考虑多个因子的作用, 则常常会产生多因子同时异常或不匹配的情形; 而如果选取两个关键的因子进行组合配置, 预测结果往往较好. 而以往多以东亚夏季风冷、暖系统中某一个成员为研究对象, 研究其与中国夏季降水的关系, 很少将冷暖两个系统进行综合研究. 因此, 研究两个或者多个冷、暖系统配置下中国夏季降水的旱涝规律, 对增强关于夏季旱涝机制的理解和提高预测水平有重要的意义. 基于此, 本文从冷暖系统配置的角度, 选取极涡和东亚夏季风分别代表冷、暖系统, 对二者异常配置下中国夏季大尺度旱涝分布特征和可能机理进行分析和探讨.

2 资料和方法

本文所用的资料来源是NCEP/ NCAR的1951—2010年月平均再分析的风场、高度场资料, 水平分辨率率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$; 中国气象局提供的160站月平均降水量等, 副高各项指数来自中国气象局国家气候中心74项月环流指数. 取1971—2000年平均值为气候态.

采用张庆云等^[13]定义的EASM指数, 将东亚热带辐合带(季风槽区: $10\text{--}20^\circ\text{N}$, $100\text{--}150^\circ\text{E}$)与副热带辐合带(梅雨锋区: $25\text{--}35^\circ\text{N}$, $100\text{--}150^\circ\text{E}$)6—8月平均的850 hPa风场的纬向风距平差, 定义为EASM指数:

$$I_{\text{EASM}} = U'_{850[10\text{--}20^\circ\text{N}, 100\text{--}150^\circ\text{E}]} - U'_{850[25\text{--}35^\circ\text{N}, 100\text{--}150^\circ\text{E}]} \quad (1)$$

EASM指数正异常, 表明东亚热带季风槽低压环流加强, 梅雨锋低压环流减弱; EASM指数负异常, 表明东亚热带季风槽低压环流减弱, 梅雨锋低压环流加强.

极涡的各指数计算方法见文献[17], 其中极涡面积指数的定义和计算如下: 在500 hPa月平均等压面上, 取接近于最大西风轴线的等高线为极涡南界, 将这一特征等高线以北所包围的面积定义为极涡面积. 确定了极涡边界之后, 利用球面积公式计算极涡面积, 即

$$S = \int_{\varphi}^{\frac{\pi}{2}} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R^2 \cos \varphi d\varphi d\lambda \\ = R^2 (1 - \sin \varphi) (\lambda_2 - \lambda_1), \quad (2)$$

其中 S 为在经度 $\lambda_2 - \lambda_1$ 范围内的极涡面积, φ 为极涡南界的纬度, R 为地球半径, 其值取6378 km. 以每10个经度为步长, 由此得出计算极涡面积的公式

$$S = \frac{R^2 \pi}{18} \sum_{i=1}^{36} (1 - \sin \varphi_i). \quad (3)$$

根据上述公式求出极涡面积, 并取 10^5 km^2 为单位的极涡面积作为极涡面积指数. 为描述不同区域范围内的极涡面积的变化特征, 将北半球分成四个区, 即亚洲区: $60^\circ\text{E} - 150^\circ\text{E}$; 太平洋区: $150^\circ\text{E} - 120^\circ\text{W}$; 北美区: $120^\circ\text{W} - 30^\circ\text{W}$; 大西洋欧洲区: $30^\circ\text{W} - 60^\circ\text{E}$. 其中亚洲区极涡面积(Area of the Polar Vortex in Asia, APVA)指数的大小, 反映了亚洲中高纬度地区的大气环流的平均状况.

表1 1951—2010年各极涡指数与中国夏季160站降水相关系数达到0.05信度 t 检验水平的站点数

	6月	7月	8月	夏季
亚洲区极涡面积指数	4	34	28	29
太平洋区极涡面积	10	8	10	8
北美区极涡面积	10	2	3	4
大西洋欧洲区极涡面积	10	7	6	7
北半球极涡面积	7	15	10	10

计算1951—2010年夏季各极涡面积指数与中国160站夏季降水相关系数, 达到0.05信度 t 检验水平的站点数如表1所示, 其中7月APVA指数与中国夏季降水相关系数达到0.05信度 t 检验水平的站点数最多. 7月APVA指数与夏季APVA指数的相关系数高达0.83, 即7月亚洲区极涡面积的大小可以反映整个夏季亚洲区极涡面积的大小.

3 EASM 与 APVA 气候特征

由定义得到 EASM 指数(图 1(a)) 和 7 月 APVA 指数(图 1(b))1951—2010 年的年际变化图。由图 1(a) 可见, EASM 有很强的年际变化, 20 世纪 50 年代到 60 年代 EASM 总体偏弱, 70 年代开始增强, 80 年代后年际变化更加显著。谱分析结果(图略)显示, EASM 有 2 年左右的谱峰, 即具有准两年振荡特征。从 7 月 APVA 指数的标准化时间序列(图 1(b)) 可见, 以 20 世纪 80 年代中期为界, 之前面积指数大多为正值, 之后面积指数基本以负值为主, 总体趋势是下降的, 谱分析结果(图略)指出, 7 月 APVA 有 5 年和 25 年左右的谱峰, 即具有年际和年代际振荡特征。近 60 年来 7 月 APVA 具有下降的趋势, 这在 20 世纪 80 年代以后尤为显著, 这种趋势变化体现了全球增暖尤其是极区增暖的事实。

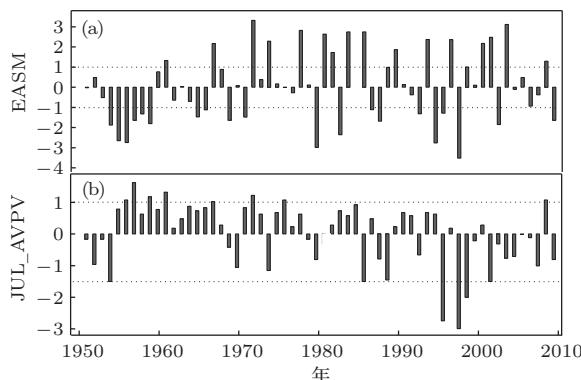


图 1 1951—2010 年 EASM 指数(a) 和 7 月 APVA 指数(b) 的标准化时间序列

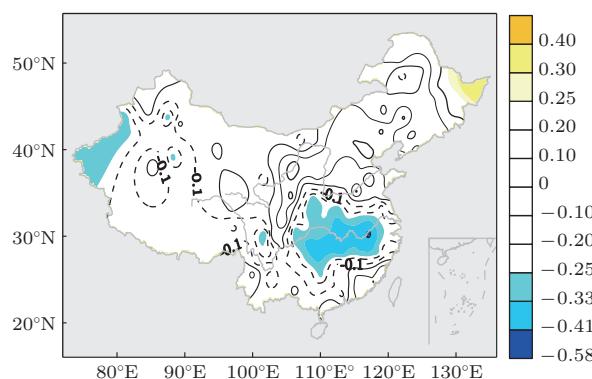


图 2 1951—2010 年 7 月 APVA 指数与中国夏季降水相关系数(阴影区表示达到 0.05 信度的 t 检验水平)

关于 EASM 与中国夏季降水的关系已有众多研究。EASM 偏强年夏季长江流域降水偏少, 偏弱年夏季长江流域降水偏多^[13]。这里只给出 7 月 AP-

VA 指数与中国夏季降水场的相关系数分布(图 2), 7 月 APVA 指数与东北大部、河套地区、新疆西北部以及华南沿海等地区夏季降水呈弱的正相关, 而与长江中下游至江南地区呈显著负相关, 相关系数最大达到 0.5 以上。

4 EASM 和 APVA 异常配置下中国夏季大尺度旱涝分布特征

从图 1 可以看出, EASM 指数和 7 月 APVA 指数的大小关系表现出多面性的特征, EASM 强的时候, 7 月 APVA 有的年份偏大, 有的年份偏小; EASM 弱的年份, 7 月 APVA 偏大偏小不一。基于此, 将 EASM 和 7 月 APVA 的关系分成以下几种类型: A: 夏季风强、极涡偏大; B: 夏季风强、极涡偏小; C: 夏季风弱、极涡偏大; D: 夏季风弱、极涡偏小。这里 EASM 强弱和 APVA 大小定义如下: 当 EASM 指数大于 1 则为强, 小于 -1 则为弱; 7 月 APVA 标准化指数大于 0.8 则为大, 小于 -0.8 则为小。根据这种定义, 将 1951—2010 年分别归类(表 2)。EASM 强、APVA 大(A型)为 5 年, 出现频率为 8.3%; EASM 强、APVA 小(B型)为 4 年, 出现频率为 6.7%; EASM 弱、APVA 大(C型)为 5 年, 出现频率为 8.3%; EASM 弱、APVA 小(D型)为 5 年, 出现频率为 8.3%。异常配置年份共有 19 年, 占总样本量的 31.7%, 可见 EASM 和 7 月 APVA 异常配置之间的这四种类型都是很典型的。

表 2 EASM 和 7 月 APVA 的不同配置及分类

类型	相应年份
A	1961, 1967, 1972, 1985, 2009
B	1974, 1986, 1999, 2002
C	1956, 1957, 1959, 1966, 1971
D	1954, 1980, 1996, 1998, 2010

将四种类型下中国夏季降水进行合成, 分析各种异常配置下中国夏季大尺度旱涝的分布特征, 结果如图 3 所示。由图 3 可见, EASM 和 APVA 异常的不同配置下中国夏季降水的大体分布具有明显的规律性, 具体表现如下: 当 EASM 偏强时, 夏季降水与 APVA 大小密切相关: APVA 偏大时(A型), 我国夏季整体偏旱, 仅西北东部至华北西部之间地区和东北东部偏多, 而其余大部降水偏少, 其中长江流域异常偏少(图 3(a)); APVA 偏小时(B型), 我国夏季南涝北旱, 长江以南降水偏多, 长江

以北降水偏少(图3(b)). 当EASM偏弱时, 夏季降水同样与APVA大小密切相关: APVA偏大时(C型), 我国夏季北涝南旱, 淮河以北大部降水偏多, 而长江中下游及江南地区降水异常偏少(图3(c)); APVA偏小时(D型), 我国夏季整体偏涝, 长江中下游地区降水偏多2成以上, 强降水中心偏多5成以上(图3(d)).

以往研究多认为EASM偏强时, 中国夏季华北多雨长江少雨, EASM偏弱时华北旱长江涝. 而由以上分析可见, 夏季降水除了与EASM有关外还与APVA的大小密切相关, EASM和APVA异常的不同配置下, 中国夏季降水多寡和旱涝分布表现出了显著的差异和规律性, 这对夏季降水总体趋势预测有一定的指示作用.

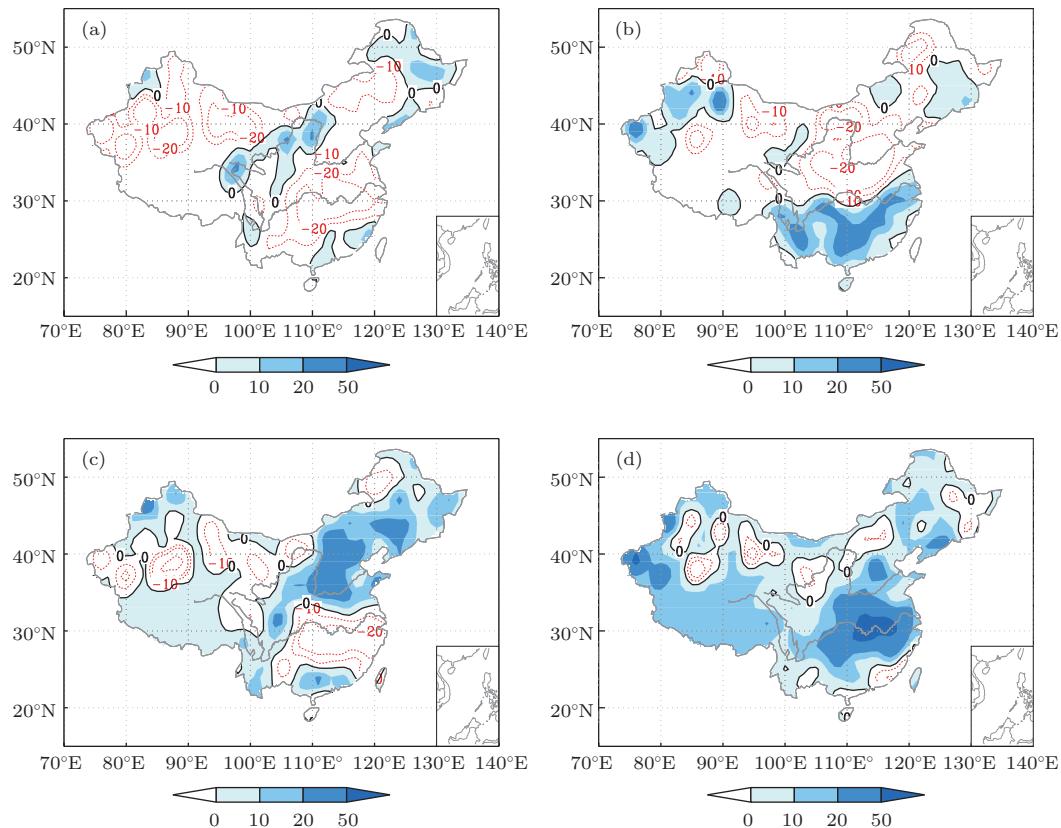


图3 EASM和7月APVA异常配置下中国夏季降水距平百分率, (a)–(d) 分别表示表2中的4种类型

5 不同配置下中国夏季大尺度旱涝的环流背景和机理分析

降水是冷暖空气相互作用的结果. 我国夏季降水受中高纬的阻塞高压和极涡、低纬的西太平洋副热带高压(副高)、夏季风、南亚高压以及西风带急流等多个环流系统的综合影响^[18–35]. 下面对四种配置类型下环流场进行合成分析, 进而探讨各种类型下夏季大尺度旱涝异常分布的机理.

5.1 850 hPa风场分析

图4给出了EASM和APVA异常配置下对应的低层850 hPa风场异常. 在A型配置的年份

(图4(a)), 季风槽区(10–20°N)呈现较大的西风距平, 梅雨锋区(25–35°N)呈现东风距平, 中国东北至日本岛以东地区为一异常强大的反气旋, 标志着副高偏北, 东亚季风区东支气流显著增强, 进而导致东亚夏季风的增强; 欧亚中高纬(50–70°N)地区为东风距平气流, 中纬度40°N附近为西风距平, 即中高纬度整体为一个巨大的气旋距平, 标志着亚洲区极涡面积偏大. 在B型配置的年份(图4(b)), 低纬季风槽区仍呈较大的西风距平, 梅雨锋区呈弱的东风距平, 中国东部为东北风距平, 东北至贝加尔湖地区、日本岛及其以东洋面均为反气旋距平环流控制, 表明亚洲区极涡面积偏小, 江南至东海为气旋距平环流. 在C型配置的年份(图4(c)), 菲律宾一带的季风槽区有一狭长的东风异常带, 梅雨锋

区呈现西风距平, 中国东部地区为南风距平, 欧亚中高纬地区为东风距平气流, 中纬度 40°N 附近为西风距平, 即中高纬度整体为一个巨大的气旋距平, 标志着亚洲区极涡面积偏大. 而在 D 型配置的

年份(图 4(d)), 季风槽区呈现较大的东风距平, 梅雨锋区呈西风距平, 中国南海和东北亚为两个反气旋距平环流, 表明副高偏强偏南, 东北亚阻塞高压偏强.

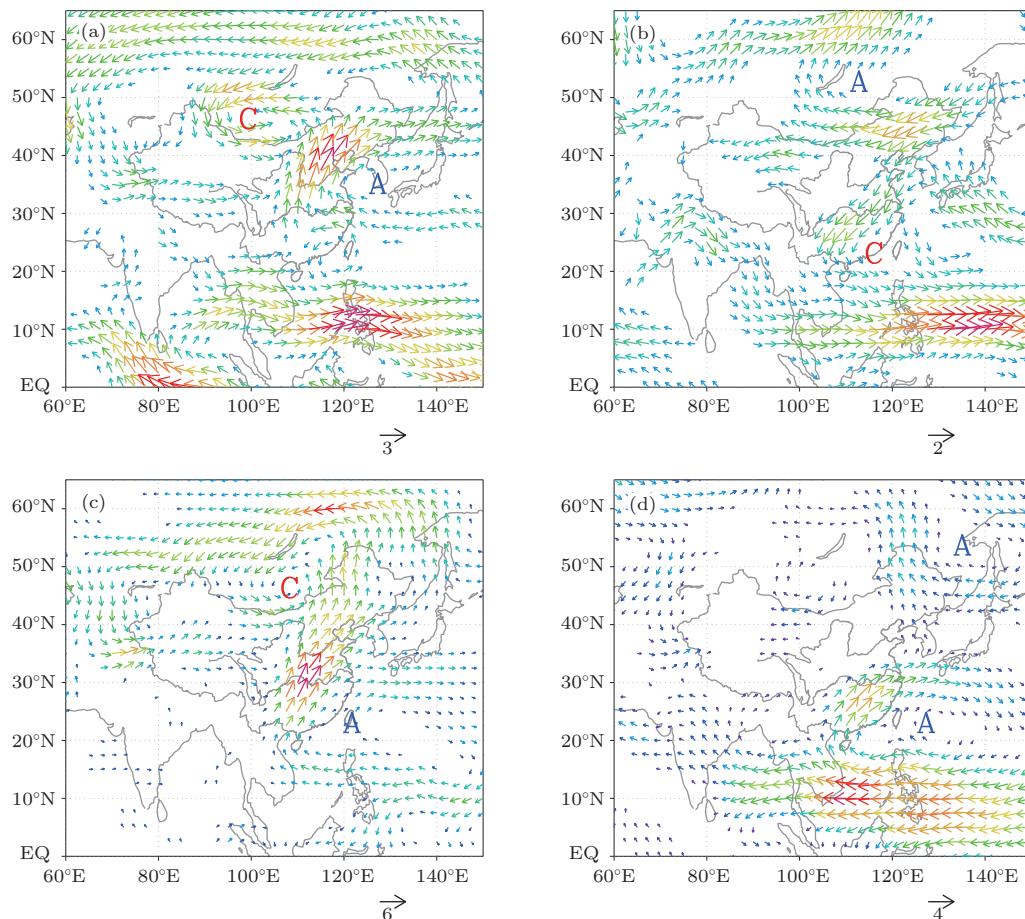


图 4 850 hPa 矢量风距平场(单位: m/s), 其他说明同图 3

EASM 指数主要反映了热带辐合带(季风槽)和副热带辐合带(梅雨锋)的强度呈相反的变化趋势的特点, 夏季风偏强年, 季风槽区呈较大西风距平, 梅雨锋区为东风距平, 西太平洋上 30°N 以南区域出现气旋性距平环流, 30°N 以北地区出现反气旋性距平环流; 夏季风偏弱年, 情况正好相反. 而极涡体现了中高纬度环流异常的特征, APVA 偏大年, 亚洲北部为巨大的气旋距平环流, 偏小年为弱的反气旋距平环流.

5.2 500 hPa 高度场分析

500 hPa 高度场可以用来反映副高和中高纬地区阻塞形势、遥相关/异常波列等环流变化. 副高是影响 EASM 的主要环流系统, 副高的进退与 EASM 的进退基本一致, 且其东西进退和南北向振荡的异

常对中国夏季雨带具有直接的影响^[36]. 表 3 为夏季副高各指数与 EASM 和 APVA 指数的相关, 可以看出 EASM 与副高的面积和强度指数呈显著的负相关, 与西伸脊点呈显著正相关, 即 EASM 偏强时副高面积偏小、强度偏弱、位置偏东; APVA 主要与副高脊线呈显著正相关, 即 APVA 偏大(极涡向南扩张)时副高偏北, APVA 偏小(极涡向北收缩)时副高偏南, 即副高与亚洲区极涡存在相向而行和背向而行两种关系.

表 3 1951—2010 年副高各指数与 EASM 和 APVA 指数的相关(上标*表示达到 0.05 信度的 t 检验水平)

副高各指数	面积	强度	脊线	西伸脊点
EASM	-0.34*	-0.43*	0.21	0.59*
7 月 APVA	-0.21	-0.17	0.26*	0.13

表4也表明副高在EASM强的年份(A, B型)面积偏小、强度偏弱、位置偏东;在EASM弱的年份(D型),面积偏大、强度偏强、西伸明显。此外,副高的位置和APVA也有密切关系:APVA偏大年(A, C型),副高偏北,中国北方多雨;在APVA偏小的年份(B, D型),副高偏南,中国南方多雨。

表4 夏季副高各指数

类型	面积	强度	脊线	西伸脊点
A	20	33	25.3°N	124°E
B	14	23	23.8°N	134°E
C	18	33	25.3°N	118°E
D	30	66	23.7°N	103°E
气候态	22	41	24.2°N	122°E

从500 hPa高度异常场(图5)上看,在A型年(图5(a)),60°N以北主要为正距平,中低纬除乌拉尔山和日本岛至亲潮区一带有小范围正值区外均为负距平,即乌拉尔山有弱的阻塞形势(乌阻),鄂霍次克海无阻塞形势,低压中心在贝加尔湖东西两侧,中高纬从西到东为+-距平波列,东亚至西太平洋地区从南到北也为-+距平波列。西风轴线(5720 gpm等值线)偏南,亚洲区极涡面积偏大。此外,中高纬度西风带相对平缓,即纬向环流较强。

在B型年(图5(b)),欧亚中高纬度为典型的+-+距平波列,正负距平中心分别位于乌拉尔山、西西伯利亚平原、贝加尔湖。中国南方至西太平洋为大范围的负距平,东亚高度场异常形势南北方向为-+分布结构,季平均上乌拉尔山为高压异常,东北亚地区为也为高压异常(鄂阻),东北亚阻塞中心在贝加尔湖及其以东地区。西风轴线异常偏北,亚洲区极涡面积偏小,但是由于双阻的存在,中高纬度西风带槽脊深度较大,即经向环流较强。在C型年(图5(c)),北半球南北整体呈-+分布,60°N以南的东亚大陆和西太平洋为大范围的低压区,北西伯利亚至鄂霍茨克海北部为一条高压异常带,即有弱鄂阻存在,乌拉尔地区和贝加尔湖地区为低压中心。西风轴线异常偏南,亚洲区极涡面积偏大,由于中高纬阻塞较弱,西风带槽脊较为平缓,即纬向环流为主。D型年(图5(d))和C型年相反,北半球高度场大范围表现为正异常,欧亚大陆和赤道以北太平洋绝大部分为强高压异常控制。欧亚中高纬度为不典型的+-+距平波列,正负距平中心分别位于乌拉尔山、北西伯利亚平原、鄂霍次克海。西风轴线异常偏北,亚洲区极涡面积偏小,但由于有较强的乌、鄂双阻同时存在,西风带槽脊深度较强,经向环流异常偏强。

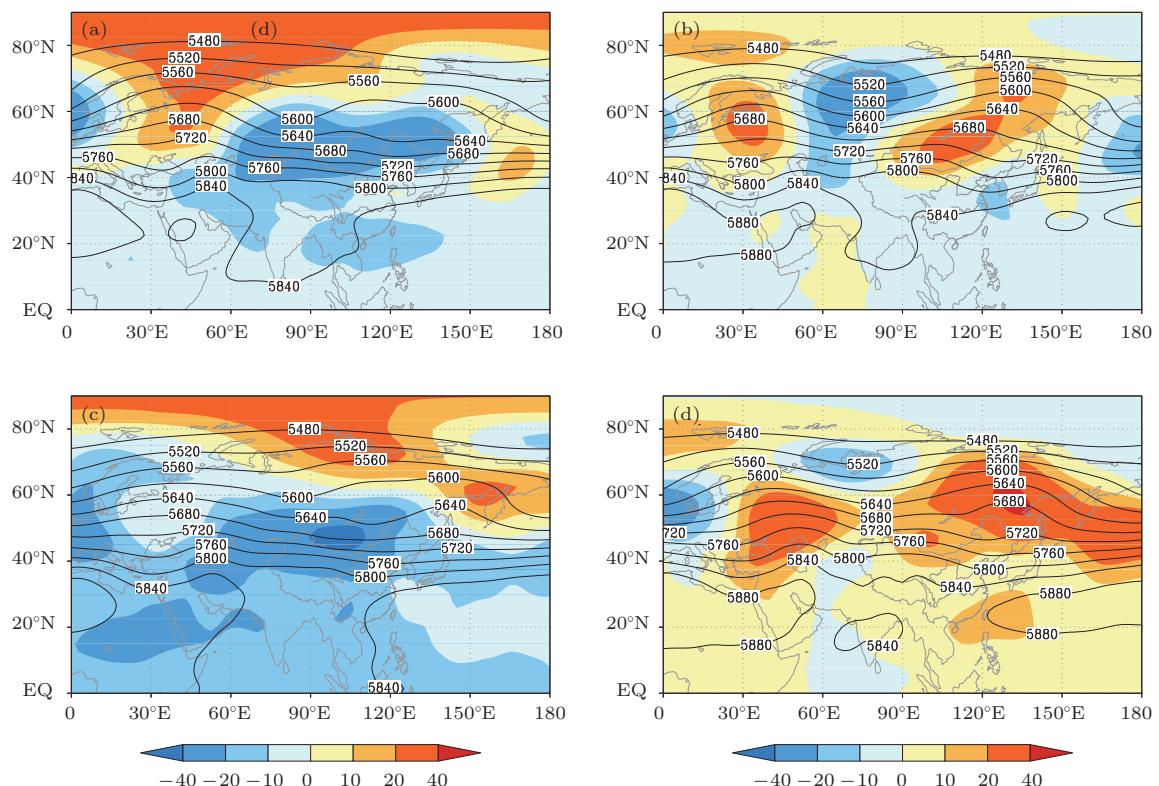


图5 500 hPa位势高度(等值线, 单位: gpm)和距平场(阴影, 单位: gpm), 其他说明同图3

EASM 与 APVA 异常配置下副高和中高纬阻塞形势等出现了显著的异常, 其中对于极涡与阻高之间相互作用的基本原理可从天气学原理角度进行简单解释: 中纬度阻塞形势的存在通常引起西风气流分支减弱, 绕极的最大西风轴线一般也北抬, 即极涡收缩面积减小, 当中高纬阻塞高压进入极地, 并持续维持, 会导致极涡变形甚至分裂成偶极型, 极涡强度显著减弱.

5.3 200 hPa 高度场和风场分析

南亚高压是夏季位于亚洲南部上空对流层上层的一个强大而稳定的大气活动中心, 它处于低纬热带和中高纬温带之间, 与高低纬不同环流系统存在相互作用和影响; 同样位于对流层中上层的西风带急流, 它处于极地和北大西洋与东亚季风区之间, 也与高纬和中低纬环流相互作用. 南亚高压和西风带二者强度、东西进退和南北向振荡的异常对副高和中国大范围旱涝分布具有重要影响.

图 6 给出了 EASM 和 APVA 四种异常配置下的 200 hPa 高度场(图 6 (a), 用 12500 gpm 等值线表示南亚高压)和纬向风场(图 6 (b), 用 30 m/s 等值线表示西风带急流), 来分别反映南亚高压和西风带急流的强度和位置. 由图 6(a)可见, A 型年南亚高压整体偏北, 有利于下层副高的北抬; B 型年南亚高压偏南, 不利于副高北抬; C 型年南亚高压偏弱偏西, 不利于副高西伸; D 型年南亚高压偏强且异常东伸, 有利于副高加强和西伸. 由图 6(b)可见, A, C 型年西风带急流整体偏强偏北, 有利于副高北抬和我国的北方多雨; B, D 型年西风带急流偏弱偏南, 导致副高偏南和我国南方多雨.

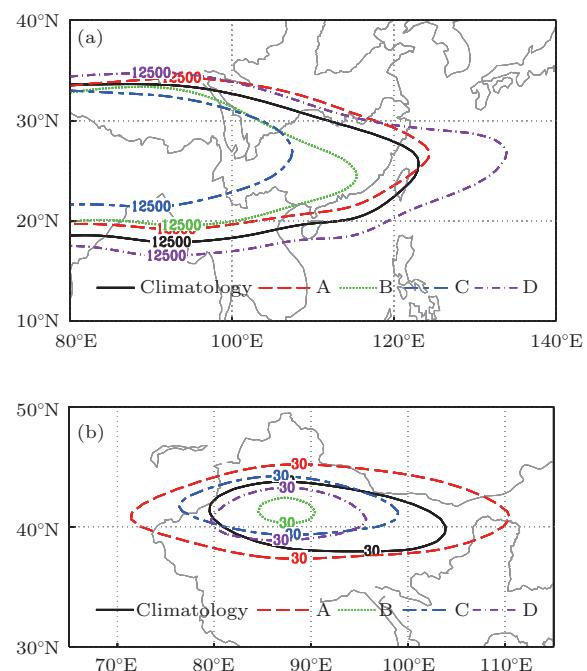


图 6 200 hPa 位势高度场 ((a), 单位: gpm) 和 U 风场 ((b), 单位: m/s), A, B, C, D 分别表示表 2 中的四种类型

5.4 东亚夏季风系统相互配置与降水机理分析

在实际气候变化中, 由于东亚夏季风系统各成员的不同配置, 使得中国每年的夏季降水分布和旱涝趋势表现出不同的特征. 以上分析表明, 在 EASM 与 APVA 异常的不同配置下中国夏季旱涝分布受到环流场要素整体形势的支配而表现出多面性和复杂性, 且在各种配置下副高、中高纬阻塞形势、南亚高压和西风带急流等有着很好的一致性, 共同决定了中国夏季大尺度旱涝的异常分布(表 5).

表 5 夏季风系统主要成员特征

类型	EASM	7月	APVA	副高			阻高		南亚高压	西风带急流	夏季旱涝
				强度	脊线	西伸脊点	乌阻	鄂阻			
A	强	偏大	弱	偏北	正常		有	无	偏北	偏强偏北	整体偏旱
B	强	偏小	弱	偏南	偏东		有	有	偏南	偏弱偏南	南涝北旱
C	弱	偏大	弱	偏北	正常		无	有	偏西	偏强偏北	北涝南旱
D	弱	偏小	强	偏南	偏西		有	有	偏东	偏弱偏南	整体偏涝

本文根据 EASM 与 APVA 的相对性所定义的四种配置类型分别具有清晰的环流异常特征, 总结如下: 在 A 型配置年, EASM 偏强、APVA 偏大. 此时, 对流层高层南亚高压和西风带急流均偏北,

有利于中层副高偏北, 中高纬有弱乌阻, 西风带相对平缓, 即纬向环流较强; 低层 850 hPa 风场距平上, 贝加尔湖南侧至中国内蒙古中部和华南各有一个气旋距平风场, 导致华北西部和华南地区降

水偏多。在B型配置年, EASM偏强、APVA偏小。此时, 南亚高压和西风带急流均偏南, 导致副高偏南; 中高纬有东西双阻, 西风带槽脊加深, 即经向环流较强, 有利于冷空气南下; 850 hPa风场距平上, 东北至贝加尔湖地区、日本岛及其以东洋面均为反气旋距平环流控制, 江南至东海为气旋距平环流, 导致中国夏季东部地区南涝北旱。在C型配置年, EASM偏弱、APVA偏大。此时, 南亚高压中心偏西, 西风带急流偏北, 有利于副高偏北, 弱鄂阻, 西风带槽脊较为平缓, 即纬向环流为主。由于副高偏北, 有利于暖湿气流北上, 同时由于鄂阻存在, 冷空气路径偏东, 导致华北和东北降水异常偏多, 而长江中下游地区降水偏少, 即北涝南旱。在D型配置年, EASM偏弱、APVA偏小。此时, 南亚高压偏强, 中心异常偏东, 利于副高的异常偏强、西伸, 而西风带急流偏弱偏南不利于副高北抬。由于副高偏西偏南, 水汽输送充足, 且东西双阻形势下冷空气南下活跃, 导致中国夏季降水整体偏多, 长江流域出现洪涝。

综上所述, APVA异常, 通过中高纬环流的相互作用使东亚地区环流发生异常, 冷空气强弱和气旋发生频率、强度产生异常; EASM的异常, 使东南海洋的水汽输送发生异常。EASM和APVA异常的不同配置下, 高层南亚高压和西风带急流、中层副高和中高纬阻塞形势、低层风场等要素均有较好的一致性, 共同决定了中国夏季大尺度的旱涝分布。

6 结论与讨论

本文从冷暖系统配置的角度选取EASM和APVA, 分析了二者的气候特征及其与中国夏季降水的关系, 然后将EASM和APVA的异常配置分为4种类型, 对4种异常配置下中国夏季降水和要素场进行了分析, 具体结论如下:

1.EASM具有准两年的震荡周期, 且在20世纪80年代之后年际变化更加明显; APVA有5年和25年左右的谱峰, 具有年际和年代际振荡特征, 其与中国东北大部、河套地区、新疆西北部以及华南沿海等地区夏季降水呈弱的正相关, 而与长江中下游至江南地区呈显著负相关, 相关系数最大达到0.5以上。

2.EASM和APVA的4种异常配置类型下, 中国夏季大尺度旱涝分布表现出显著的规律性: A

型, 夏季整体偏旱, 华北西部和东北东部偏多而长江异常偏少; B型, 夏季南涝北旱, 长江以南降水偏多以北降水偏少; C型, 夏季北涝南旱, 淮河以北大部降水偏多, 而长江中下游及江南地区降水偏少; D型, 夏季整体偏涝, 强降水中心在长江中下游地区。

3.EASM和APVA的4种异常配置类型下, 中国夏季大尺度旱涝分布受到环流场要素整体形势的支配而表现出多面性和复杂性, 在各种配置下高层南亚高压和西风带急流、中层副高和中高纬阻塞形势、以及底层风场等要素有着很好的一致性, 共同决定了中国夏季大尺度的旱涝分布。

中国夏季的旱涝分布受中高纬的极涡和阻塞高压、中纬的西风带环流、低纬的南亚高压、副高、夏季风、南支槽、台风以及南半球越赤道气流等多个环流系统的综合影响, 各种因素变化的不一致性导致夏季旱涝表现出了较大的复杂性, 即影响短期气候的因子众多, 而目前对这些因子影响的相对强弱和综合影响效果的认识尚不十分清楚, 影响了对汛期降水的准确把握。因此, 加深对影响因子间的相互作用与冷、暖系统配置的认识对短期气候预测有重要的意义。

参考文献

- [1] Zhu K Z 1934 *Acta Geographical Sinica* **1** 1 (in Chinese) [竺可桢 1934 地理学报 **1** 1]
- [2] Guo Q Y 1983 *Acta Geographical Sinica* **38** 207 (in Chinese) [郭其蕴 1983 地理学报 **38** 207]
- [3] Chou J F, Xu M 2001 *Chinese Science Bulletin* **46** 890 (in Chinese) [丑纪范, 徐明 2001 科学通报 **46** 890]
- [4] Zeng Q C, Zhao S X, Lin C H, Xue F 2005 *Climatic and Environmental Research* **10** 281 (in Chinese) [曾庆存, 赵思雄, 林朝晖, 薛峰 2005 气候与环境研究 **10** 281]
- [5] Huang R H, Gu L, Chen J L, Huang G 2008 *Chin. J. Atmos. Sci.* **32** 691 (in Chinese) [黄荣辉, 顾雷, 陈际龙, 黄刚 2008 大气科学 **32** 691]
- [6] Wang H J 2002 *Adv. Atmos. Sci.* **9** 1
- [7] Li J P, Zeng Q C 2002 *Geophysical Research Letters* **29** 1274
- [8] Wang B, Wu Z W, Li J P, Liu J, Chang C P, Ding Y H, Wu G X 2008 *J. Climate* **21** 4449
- [9] Lian Y, Shen B Z, Gao Z T 2004 *Acta Meteorologica Sinica* **62** 782 (in Chinese) [廉毅, 沈柏竹, 高枫亭 2004 气象学报 **62** 782]
- [10] Ding Y H 1994 *Asian monsoon* (Beijing: Meteorological Press) 76-83 (in Chinese) [丁一汇 1994 亚洲季风 (北京: 气象出版社) 第76—83页]

- [11] Shi N, Zhu Q G, Wu B G 1996 *Chin. J. Atmos. Sci.* **20** 575 (in Chinese) [施能, 朱乾根, 吴彬贵 1996 大气科学 **20** 575]
- [12] Zhang Q Y, Tao S Y 1998 *Quart. J. Appl. Meteorol.* **9** (Suppl) 17 (in Chinese) [张庆云, 陶诗言 1998 应用气象学报 **9** (增刊) 17]
- [13] Zhang Q Y, Tao S Y, Chen L T 2003 *Acta Meteorologica Sinica* **61** 559 (in Chinese) [张庆云, 陶诗言, 陈烈庭 2003 气象学报 **61** 559]
- [14] Lian Y, Bu H C L, Xie Z W, Shen B Z, Li S F 2010 *Chin. J. Atmos. Sci.* **34** 429 (in Chinese) [廉毅, 布和朝鲁, 谢作威, 沈柏竹, 李尚锋 2010 大气科学 **34** 429]
- [15] Yang H W, Feng G L, Shen B Z, Zhi R 2012 *Chin. J. Atmos. Sci.* **36** 487 (in Chinese) [杨涵洧, 封国林, 沈柏竹, 支蓉 2012 大气科学 **36** 487]
- [16] Zhao J H, Feng G L, Wang Q G, Yang J, Gong Z Q 2011 *Chin. J. Atmos. Sci.* **35** 1069 (in Chinese) [赵俊虎, 封国林, 王启光, 杨杰, 龚志强 2011 大气科学 **35** 1069]
- [17] Zhao Z G 1999 *Summer Drought and Environmental Field in China* (Beijing: Meteorological Press) 68–72 (in Chinese) [赵振国 1999 中国夏季旱涝及环境场 (北京: 气象出版社) 第 68—72 页]
- [18] Zhang Q Y, Tao S Y 1998 *Acta Meteorologica Sinica* **56** 199 (in Chinese) [张庆云, 陶诗言 1998 气象学报 **56** 199]
- [19] Huang J P, Wang S W 1991 *Science China D* **2** 216 (in Chinese) [黄建平, 王绍武 1991 中国科学 D **2** 216]
- [20] Feng G L, Sun S P, Zhao J H, Zheng Z H 2013 *Sci China Earth Sci.* **56** 1576
- [21] Feng G L, Dai X G, Wang A H, Chou J F 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 606 (in Chinese) [封国林, 戴新刚, 王爱慧, 丑纪范 2001 物理学报 **50** 606]
- [22] Feng G L, Dong W J, Jia X J, Cao H X 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 1181 (in Chinese) [封国林, 董文杰, 贾晓静, 曹鸿兴 2002 物理学报 **51** 1181]
- [23] Zhao J H, Yang J, Gong Z Q, Zhi R 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 099206 (in Chinese) [赵俊虎, 杨杰, 龚志强, 支蓉 2013 物理学报 **62** 099206]
- [24] Zhao J H, Yang J, Feng G L, Zhang S X 2013 *Quart. J. Appl. Meteorol.* **24** 43 (in Chinese) [赵俊虎, 杨杰, 封国林, 张世轩 2013 应用气象学报 **24** 43]
- [25] Gong Z Q, Zhao J H, Feng G L 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 099205 (in Chinese) [龚志强, 赵俊虎, 封国林 2013 物理学报 **62** 099205]
- [26] Gong Z Q, Feng G L, Wan S Q, Li J P 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 477 (in Chinese) [龚志强, 封国林, 万仕全, 李建平 2006 物理学报 **55** 477]
- [27] Feng G L, Dong W J, Gong Z Q, Hou W, Wan S Q, Zhi R 2006 *Non-linear Theories and Methods on Spatial-Temporal Distribution of the Observational Data* (Beijing: Meteorological Press) pp5–8 (in Chinese) [封国林, 董文杰, 龚志强, 侯威, 万仕全, 支蓉 2006 观测数据非线性时空分布理论和方法 (北京: 气象出版社) 第 5—8 页]
- [28] Feng G L, Hou W, Zhi R, Yang P, Zhang D Q, Gong Z Q, Wan S Q 2012 *Detection, Diagnosis and Predictability Research of Extreme Climate Events* (Beijing: Science Press) pp1–345 (in Chinese) [封国林, 侯威, 支蓉, 杨萍, 章大全, 龚志强, 万仕全 2012 极端气候事件的检测, 诊断与可预测性研究 (北京: 科学出版社) 第 1—345 页]
- [29] Xiong K G, Zhao J H, Feng G L, Huang J P, Hu J G 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 149204 (in Chinese) [熊开国, 赵俊虎, 封国林, 黄建平, 胡经国 2012 物理学报 **61** 149204]
- [30] Yang J, Wang Q G, Zhi R, Feng G L 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 029204 (in Chinese) [杨杰, 王启光, 支蓉, 封国林 2011 物理学报 **60** 029204]
- [31] Hou W, Yang P, Feng G L 2012 *Chin. Phys. B* **21** 019201
- [32] Wang K, Feng G L, Zeng Y X, Wang X J 2013 *Chin. Phys. B* **22** 129202
- [33] Zhang Z Z, Gong Z Q, Zhi R, Feng G L, Hu J G 2011 *Chin. Phys. B* **20** 019201
- [34] Qian Z H, Hu J G, Feng G L, Cao Y Z 2012 *Chin. Phys. B* **21** 109203
- [35] Feng G L, Gong Z Q, Zhi R, Zhang D Q 2008 *Chin. Phys. B* **17** 2745
- [36] Zhao J H, Feng G L, Yang J, Zhi R, Wang Q G 2012 *Acta Meteorologica Sinica* **70** 1021 (in Chinese) [赵俊虎, 封国林, 杨杰, 支蓉, 王启光 2012 气象学报 **70** 1021]

The distribution of large-scale drought/flood of summer in China under different configurations of monsoon and polar vortex*

Ji Fei¹⁾ Zhao Jun-Hu^{1)2)†} Shen Qian¹⁾ Zhi Rong²⁾ Gong Zhi-Qiang²⁾

1) (College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

2) (Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

(Received 23 October 2013; revised manuscript received 8 November 2013)

Abstract

From the view of warm and cold system configuration, an East Asian summer monsoon (EASM) index and the Asian polar vortex area (APVA) index in July were selected, and their climatic characteristics and relationships with the distribution of summer rainfall over China were analyzed. On this basis, the relationships between the EASM and APVA in July from 1951 to 2010 were divided into four types: type A, stronger monsoon and bigger polar vortex area; type B, stronger monsoon and smaller polar vortex; type C, weaker monsoon and bigger polar vortex; type D, weaker monsoon and smaller polar vortex. Based on the method of composite analysis, we found that on the seasonal scale, large-scale distributions of summer droughts and floods over China showed multi-faceted characteristics in different configurations of the EASM and the APVA in July. In A type years, the summer rainfall of China was overall less than normal, the region between eastern parts of Northwest and the western parts of North China, and the eastern regions of Northeast suffered from flood, while Yangtze River valley suffered from drought; in B type years, it had flood in South and drought in North, and the precipitation in the south/north of northern regions in the Yangtze River valley was more/less than normal; in C type years, North China was flooded and South of China suffered from drought, while the precipitation in the northern parts of the Huaihe River valley was more than normal; and in the middle and lower reaches of Yangtze River and to its south the precipitation was less than normal; in D type years, the overall summer rainfall was more than normal, with the precipitation core lying in the middle and lower reaches of Yangtze River. Thus, it can be seen that the distribution of summer rainfall is not only related to the EASM, but also to the PAVA in July. Under different configurations of the both, the precipitation and its distribution display obvious difference and regularity, which, to some extent, have effects on predicting the total trend of summer rainfall. Besides, by discussing the anomaly characteristics of atmospheric circulation due to different configurations and by analyzing the influences of different meteorological factors on the relationship between the monsoon and the polar vortex, we can conclude that the difference and regularity of summer rainfall directly depend on the configurations of circulation. Among them, the western Pacific subtropical high and the blocking situation in the mid and high latitudes are the overriding factors.

Keywords: East Asian summer monsoon, the area of the polar vortex in Asia, distribution of drought/flood, atmospheric circulation

PACS: 92.60.Wc, 92.60.Bh

DOI: 10.7498/aps.63.059201

* Project supported by the National Basic Research Program of China(Grant Nos 2013CB430204, 2012CB955902), the National Natural Science Foundations of China (Grant Nos. 41375078, 40930952), and the Special Scientific Research Fund of Meteorological Public Welfare Profession of China (Grant No. GYHY201106016).

† Corresponding author. E-mail: huzi348637577@sina.com